

# 無機元素の定性分析と鉄の循環

安 部 範 之\*

身近な食物などに含まれている無機元素（Ca, Mg, Fe）の定性分析、および鉄の単体を取り出す方法について検討した。その結果、定性分析における呈色、沈殿は試料の濃度に対応した強さとして現れること、いくつかの方法で比較的容易に単体の鉄を取り出せることが明らかになった。更にこれらの方法を活用した観察、実験がもつ教材性について、「人間と自然」等の指導と関連させていくつか述べている。

## 1. はじめに

自然界における物質や元素の循環は、中学校や高等学校の理科で取り上げられている。中学校では、単元「人間と自然」で、酸素や二酸化炭素が太陽のエネルギーを原動力にして循環していることが、高等学校では、理科 I、選択の化学や生物などで生態系の平衡と関連した炭素や窒素の循環が扱われている。しかし、いずれの場合も観察や実験を含まない解説となっており、生徒の理解や共感を得るための働きかけは弱い。人間を含めた動物の体内で重要な働きをする元素が植物や土壌にも存在し、循環していること（図 1）を身近な材料の分析実験を通して学習させることができれば、生徒の物質感や自然を見る目も、一層深まってくるものと期待できる。

そこで本研究では、土壌、植物、動物に共通に存在する無機元素の定性分析やそれを具体物として取り出す方法を検討し、元素の循環等における教材性を考察することにした。定性分析は、土壌、植物、動物の各層に比較的多量に含まれるカルシウム、マグネシウム、鉄について行った。併せて原子吸光分析法による分析も行い、定性分析の結果との対応も検討した。また、具体物として取り出す元素としては、我々の生活に馴染みの深い鉄を選んだ。以下にその概要を報告する。

## 2. 自然界における元素の循環

地球表層を構成している元素の割合は、クラーク数として示されている。酸素とケイ素が3/4以上を占め、アルミニウム、鉄、カルシウム等の元素が続いている（表 1）。一般に植物は土壌から必要な無機元素を吸収して生長し、動物は植物等を通してそれらの元素を得ている。さらに動植物

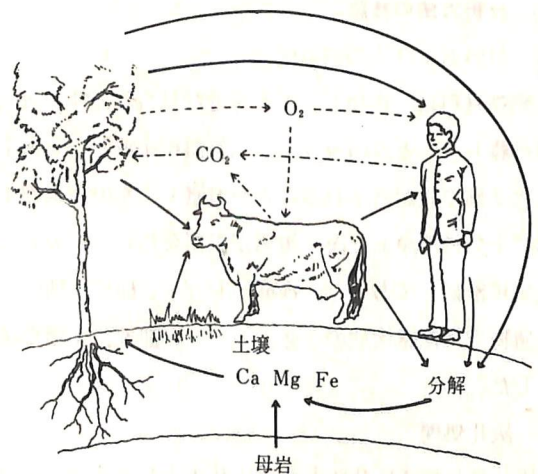


図 1 物質や元素（Ca, Mg, Fe）の循環

\* 理科長期研修員（新発田地区理科教育センター・新発田市立猿橋小学校）

の遺体は微生物等によって分解され、無機元素は土中に還元されている。

また、生物の体は、炭素、酸素、水素などをはじめとする20種以上の元素から構成されており、植物、動物ともその割合はよく類似している(表2)。このことは、生物体としての共通性を示すとともに植物から動物への元素の流れを表しているとも考えられる。本研究で取り上げるカルシウム、マグネシウム、鉄も自然の中でさまざまな経路を経て循環している。

こうした元素の循環という概念は、たとえば土壌に由来する鉄が血液中に存在することなどを実験を通して具体的に確認させることによってはじめて実感できると考えられる。

### 3. 無機元素の定性的な分析

カルシウム、マグネシウム、鉄元素は生体

内において呼吸や神経の伝達、生長等に重要な役割を果たす元素であり、理科の実験などでも馴染み深い。また、これらの元素は沈殿や呈色による検出が比較的容易である。本実験では、増井ら<sup>1)</sup>が植物において採用した方法を一部変更して分析を行った。

#### (1) 分析方法の概要

##### a 材料およびその前処理

植物材料は、食物としても身近なほうれん草、よもぎ、緑茶、ひじきの4種を、動物材料としては市販の豚レバーと食肉センター(新潟市小新)から入手した豚の血液を用いた。土壌については、畑の表土と2価の鉄が含まれることを考慮して水田深部の土を分析した。ほうれん草、よもぎ、ひじきは蒸留水で十分に洗浄した後、電気定温器を用いて乾燥した。また、水田深部の土は、酸化を防ぐためビニール袋に密封しておいた。緑茶、レバー、血液、畑の表土については特別な前処理が不要である。

植物では乾燥状態の5g、レバー、血液、土壌では自然状態の5gを秤量して定性分析のための材料とした。

##### b 灰化処理

灰化には乾式灰化法と湿式灰化法とがあるが、本研究では主に乾式灰化法を用いた。湿式は灰化物の飛散を防げる長所もあるが、時間や強酸化剤使用による安全性を考慮すると、生徒実験では乾式が望ましい。蒸発皿に入れた植物、動物の材料をガスバーナーで上から焼いて炭化させたのち、550℃の電気炉で約1時間加熱するとほぼ完全に灰化することができる。レバーや血液は炭化に少し時間を要するが、

表1 地殻を構成する元素(クラーク数)

順	元 素	割合	7	カリウム K	2.40
1	酸 素 O	49.5%	8	マグネシウム Mg	1.93
2	ケ イ 素 Si	25.8	9	水 素 H	0.87
3	アルミニウム Al	7.56	10	チ タ ン Ti	0.46
4	鉄 Fe	4.70	11	塩 素 Cl	0.19
5	カルシウム Ca	3.39	12	マンガン Mn	0.09
6	ナトリウム Na	2.63		他	0.48

表2 細胞の構成元素 ※水分を除いた質量比(%)  
開隆堂「理科I」による

元 素	ヒ ト	ウマゴヤシ
炭 素 C	48.43 %	45.38 %
酸 素 O	23.70	41.04
窒 素 N	12.85	3.30
水 素 H	6.60	5.54
カルシウム Ca	3.45	2.31
硫 黄 S	1.60	0.44
リ ン P	1.58	0.28
ナトリウム Na	0.65	0.16
カリウム K	0.55	0.91
塩 素 Cl	0.45	0.28
マグネシウム Mg	0.10	0.33
他	0.04	0.03

上下2本のガスバーナーで加熱すると短縮できる。植物の炭化は数分で完了する。ガスバーナーだけで灰化することもできるが、材料が飛散しやすく電気炉を利用するほうが能率的である。なお、土壌は灰化を要しない。

### c 元素の検出方法

カルシウム、マグネシウム、鉄のそれぞれのイオンは次のようなpH領域（ $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdots \cdots \text{pH} 13$ 以上、 $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdots \cdots \text{pH} 11$ 以上、 $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdots \cdots \text{pH} 8$ 以上、 $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdots \cdots \text{pH} 2$ 以上）で水酸化物として析出沈殿する。よって、強酸性の溶液に溶けているそれぞれのイオンは、pHを調節することによって分離できる。本分析では、試料液を $\text{pH} \approx 9$ に調節してカルシウムイオン（ $\text{Ca}^{2+}$ ）、マグネシウムイオン（ $\text{Mg}^{2+}$ ）と鉄イオン（ $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ）とに分離して検出した。

具体的な操作法と手順（図2）は下に示した通りである。

〔試薬〕 2M塩酸 濃アンモニア水 シュウ酸アンモニウム（25%水溶液） チタンイエロー（0.5%水溶液）  
水酸化ナトリウム 2M硫酸 石灰石 マグネシウムリボン 赤さび モール塩 フェロシアン化カリウム（0.1M水溶液） フェリシアン化カリウム（0.1M水溶液）

〔操作〕①乳鉢で細かくすりつぶした灰化物や土壌に、2M塩酸15mLを加えてろ過し、ロ液を試料液とする。ロ液は $\text{Fe}^{3+}$ の含量に応じて褐色を帯びる。

②試料液が $\text{pH} \approx 9$ になるまで濃アンモニア水を加えて沈殿を析出させる。pHの確認は万能試験紙で十分である。

③試料液をさらに沈殿物とロ液に分け、ロ液は二等分する。

④ロ液のひとつにシュウ酸アンモニウムを1mLほど加える。確認実験としては少量の石灰石を2M塩酸に溶かしたもののについて同様の実験を行う。

⑤もう一方のロ液にチタンイエローを数滴加え、続いて粒状水酸化ナトリウムを4～5粒加える。確認実験としてはマグネシウムリボンの小片を2M塩酸に溶かしたもののについて同様の実験を行う。

⑥沈殿物は2M硫酸10mLを加えて溶かし、二等分する。

⑦溶液のひとつにフェロシアン化カリウムを数滴加える。確認実験としては2M塩酸に少量の赤さびを加えたものについて同様の実験を行う。

⑧もう一方の溶液にフェリシアン化カリウムを数滴加える。確認実験としては少量のモール塩を水に溶かしたもののについて同様の実験を行う。

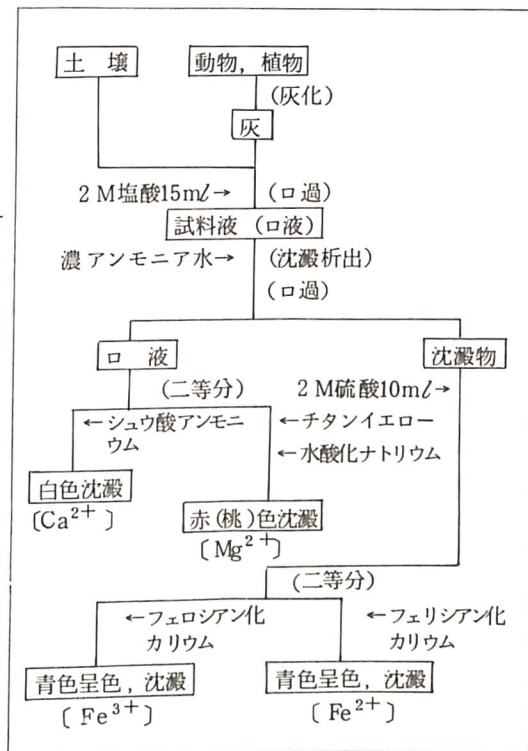


図2 定性分析の操作手順

表3 呈色、沈殿反応の相対的な強さ { ◎……強い ○……弱い }  
—……認めず

試料	ほうれん草	よもぎ	緑茶	ひじき	レバー	血液	水の田土	畑の土
Ca	○	◎	○	◎	○	○	○	○
Mg	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎
Fe	Fe <sup>2+</sup>	—	—	—	—	—	○	—
	Fe <sup>3+</sup>	◎	○	○	◎	○	◎	◎

図2のように、カルシウムは白く、マグネシウムは赤く沈殿し、鉄は青色に呈色、沈殿した。各試料液に含まれていた元素の相対的な量は表3にまとめた通りである。

## (3) 原子吸光分光光度計による分析結果

定性分析で得られた結果の信頼性を確認するため、原子吸光分光光度計を用いた分析を行った。

試料は定性分析に用いた試料液と同様に調整し J I S K 0102 「工場排水試験法」に基づいて分析を行った。試料液中に含まれる各元素の濃度、それをもとに算出した材料 100 g 当たりの量、及び文献値は表 4 の通りである。

なお、土壌については分析を行わなかった。

## (4) まとめと考察

原子吸光分析によって得られた試料液中の元素の濃度と定性分析の結果を対比した (表 5)。

カルシウムについては、レバーや血液から得られた沈澱はごくわずかであり、試料液中の濃度と対応している。材料 100 g 当たりの量も、よもぎ以外、文献値の 6～9 割に達している。本定性分析法はカルシウムをほぼその濃度に応じて検出することができると言える。

マグネシウムについても試料液中の濃度と沈澱

は対応している。このイオンはアルカリ性になるとチタンイエローとレーキを生成して赤い沈澱となるが、カルシウムイオンの存在量によってその色調は異なってくる。レバーや血液では深紅の沈澱となるが、カルシウムの多いひじきやよもぎでは水酸化カルシウムの白色沈澱を含んで桃色の沈澱となる。

鉄はカルシウム、マグネシウムと比べ低い濃度であるが、試薬と鋭敏に反応して呈色、沈澱を生じ、その度合いも試料液中の濃度と対応している。鉄は自然状態で 3 価および 2 価として存在し、単体では不安定である。本分析で 3 価の鉄はすべての試料から検出できたが、2 価の鉄は水田深部に認められるだけであった。よって、3 価の鉄のみを検出することでも、土壌、植物、動物各層に存在する鉄を示すことができる。

なお、原子吸光分析によって得られた材料 100 g 当たりの鉄の量が、レバーを除いて文献値の数分の一になっているのは、灰化物からの鉄の溶出が十分でなかったためと考えられる。その理由として、乾式灰化によって鉄が酸に溶けにくい酸化物となること、2 M 塩酸に溶け残った灰化物を強酸中で加熱すると鉄が検出されることの二点が挙げられる。レバーについては血抜き程度によって分析値に差があるのであろう。

総じて各元素の呈色、沈澱の度合いは、原子吸光による分析値とよく対応しており、時間的、技術的な面からも、本定性分析は自然界に存在するカルシウム、マグネシウム、鉄を検出する生徒実験として適切な方法である。

表 4 原子吸光法による分析結果

試 料		ほうれん草	よもぎ	緑 茶	ひじき	レバー	血 液
Ca	濃度(ppm)	2,300	2,700	1,300	3,140	10	18
	重量(mg)	44.8	231	390	924	3	5.4
	文献値(mg)	55	140	440	1,400	5	5.2
Mg	濃度(%)	9,200	1,600	1,670	3,150	70	12
	重量(%)	179	136	501	939	21	3.6
	文献値(%)						4.0
Fe	濃度(%)	60	14	24	35	28	10
	重量(%)	1.2	1.2	7.2	10.5	8.4	3
	文献値(%)	3.7	4.3	20	55	4.0	50

※緑茶、ひじきの値は乾燥状態のものである。

※食品類の文献値は四訂「食品分析表」、血液はヒトの文献値で朝倉書店「血液化学」によった。

※乾燥によってほうれん草は約 6 %、よもぎは約 30 % に重さが増えるため、濃度と重量が対応していない。

表 5 定性分析と原子吸光法による分析結果の対応

	試料	ほうれん草	よもぎ	緑茶	ひじき	レバー	血液
Ca	濃度(ppm)	2,300	2,700	1,300	3,140	10	18
	呈色、沈殿	○	◎	○	◎	○	○
Mg	濃度(%)	9,200	1,600	1,670	3,130	70	12
	呈色、沈殿	◎	◎	◎	◎	◎	○
Fe	濃度(%)	60	14	24	35	28	10
	呈色、沈殿	◎	○	○	◎	◎	○



#### 4. 土壌、ひじき、血液から鉄を取り出す

定性分析によって自然界に存在するいくつかの元素を比較的簡単に確認できるが、更に具体物としてその元素の単体を取り出すことができれば、一層興味深い学習を組織することができる。

定性分析を行ってきた元素の中でも鉄は磁石に付くものとして小学校理科で学習以来馴染んでおり、釘や針金として日常的に目にしている物質である。そこで我々の生活に深く結びついているこの鉄を土壌、植物、動物から単体として取り出す方法について検討してみた。材料は、それぞれ鉄の含有量が多いと思われる赤色土（露頭に多く見られる）、ひじき、血液（豚）を選んだ。

検討した方法は、酸化物とした鉄を水素やメタノールで還元する方法、イオン化している鉄を電気分解やイオン化傾向の差を利用して析出させる方法の4種であり、ともに生徒実験が可能な範囲であると考えられる。

##### (1) 水素を用いて還元する方法

###### a 実験方法の概要

〔試薬〕 6 N 塩酸    希アンモニア水    華状亜鉛

〔操作〕①赤色土、ひじきは乾燥状態、血液は自然状態の5 g を材料とし、赤色土以外は定性分析と同様に灰化する。  
②ひじきの灰化物と赤色土に6 N 塩酸20 mlを加え、数分間加熱して鉄を溶出する。血液の場合、灰化物を直接還元する。  
③鉄の溶出液を吸引口過し、ロ液がpH  $\approx$  9 になるまで希アンモニア水を加えて沈澱を析出させる。  
④沈澱物を吸引口過し、電気定温器等で十分に乾燥する。  
⑤乾燥した沈澱物を白煙が出なくなるまでガスバーナーで強熱して褐色の脱水物とする。  
⑥\*脱水物、および血液の灰化物を直径2 cmほどのガラス管に入れ、乾燥した水素を通しながらガスバーナーで7～8分間強熱して還元する。水素の発生には6 N 塩酸、華状亜鉛、およびキップの装置を用い、濃硫酸を通して乾燥する。  
⑦\*加熱を止めた後も水素を通し続けてガラス管を冷却し、窒素を封入して鉄の再酸化を防ぐ。  
\*危険を防止するため、ガラス管と乾燥ビンとの間に防爆管をはさみ、ガラス管を経た水素は室外へ導いて大気中に放出させた。

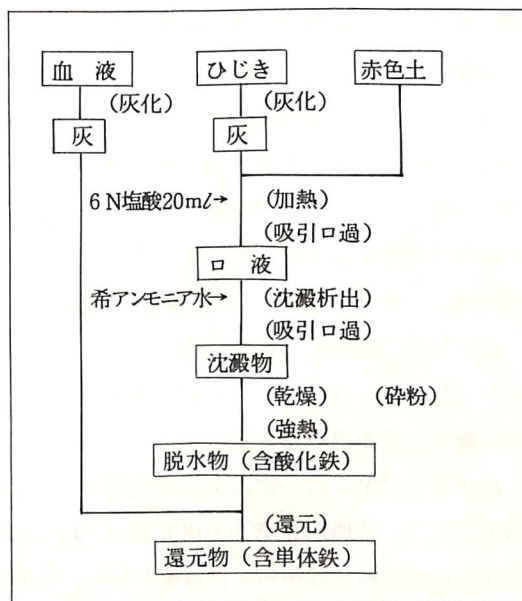


図3 水素還元の手順

###### b 結果

血液の灰化物や赤色土の脱水物は褐色であり、還元されることによって灰黒色、更に灰色へと色調が変化する。血液の灰化物は褐色の状態でも弱い磁性は確認できるが、色調が変化するにつれて磁性も増していく。ひじきの脱水物はうすい褐色であるが、色調や磁性の変化は赤色土と同じ傾向を示す。このことは、鉄が3価から2価へ、さらに単体へ還元されていくことと一致する。

それぞれ5 g の材料から、単体の鉄を含む還元物を赤色土では約0.18 g、血液では約0.04 g、ひじきでは約0.09 g 得ることができた。

## c 還元物中の鉄の定量

水素による還元物中には鉄以外の物質も含まれている。還元物に希硫酸を作用させて水素を発生させると、鉄 1 g は 1 気圧、22℃の状態では約 430mLの水素を発生することを目安として単体の鉄の定量を試みた。

表6 還元物中に含まれる鉄 ※血液は灰化物

試料	脱水物 (mg)	①還元物 (mg)	水素の 発生量 (mL)	②単体 の鉄量 (mg)	③原子吸 光分析に よる鉄量 (mg)	鉄まで還 元された 割合②/① ×100	還元物中 の鉄の割 合②/③ ×100
ひじき	50.0	46.9	0.5	1.15	2.04	56.4%	2.5%
血液	※50.0	49.2	0.3	0.69	0.93	74.2	1.4
赤色土	50.0	33.1	2.7	6.22	9.79	63.5	18.8

結果は表6にまとめた通りである。ひじき、血液の還元物中の鉄の割合は1～2%台と低く、赤色土においては約19%であった。また、水素発生後の希硫酸に含まれる鉄イオンについて原子吸光による分析を行った結果、水素の発生による定量と対応しない結果となった。単体の鉄は、希硫酸によって2価のイオンとなるが、フェロシアン化カリウムによる定性分析では3価のイオンも検出されており、水素発生時の還元物には鉄の酸化物も存在すると考えられる。簡易試験紙を用いた分析でも $\text{Fe}^{\text{T}}$ は $\text{Fe}^{2+}$ の約2倍の濃度となっており、表6の結果を裏付けている。還元物に鉄の酸化物が含まれるのは、水素による還元が不十分だったことや再酸化されたことの2つが原因と考えられる。

## (2) メタノールを用いて還元する方法

3価の鉄の酸化物( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )を含む脱水物、および灰火物を図4のようにして加熱すると、色調は褐色から黒灰色となる。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ がメタノールによって還元され、四三酸化鉄( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )になったためである。四三酸化鉄は強磁性体であり、磁石によって鉄の存在を確認することができる。ひじきの場合、約50mgの脱水物は2～3分で黒ずんだ色になり、磁石に付くようになった。

この方法では単体の鉄まで還元できないが、安全で手軽に磁石に付く酸化鉄を取り出すことができる。

## (3) 電気分解を用いる方法

鉄イオンの溶液に一定以上の直流電圧をかけると陰極に鉄が析出してくる。陰極から電子を得て還元されるためである。陽極に安定な白金電極、陰極に炭素電極を用い、100gの赤色土から得られた鉄の溶出液に5Vの電圧をかけたところ、6時間の通電で約0.18gの鉄が得られた(図5)。通電とともに陰極からは水素も発生し、約1時間で炭素電極の表面にうっすらとした鉄の析出が認められる。ひじきや血液は赤色土に比べて鉄の含有量が少なく、析出を認めにくい。しかし、通電後の炭素電極を発泡スチロールに載せて水に浮かべたりすると磁石に吸い寄せられ、鉄の存在を確認できる。

鉄の溶出液は通電後しばらくすると鉄の析出が進んで褐色の色がやや薄れ、やがて沈澱が生じる。沈澱ができると鉄は陰極に析出しにくくなる。これは水素が発生して溶出液のpHが上がり、残っていた鉄イオンが水酸化物として沈澱したためと考えられる。

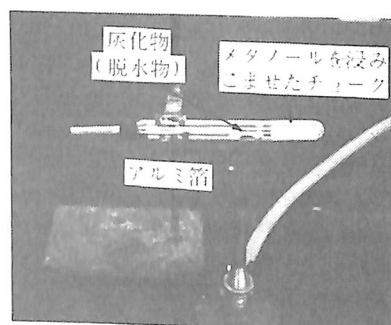


図4 メタノールによる還元

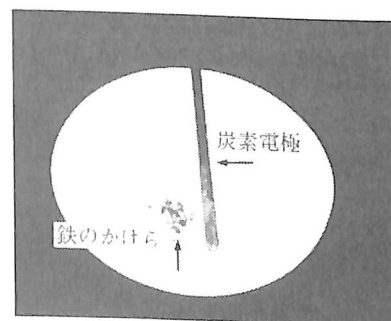


図5 陰極に析出した鉄

#### (4) イオン化傾向の差を利用する方法

鉄の溶出液にマグネシウムや亜鉛片を加えると鉄の単体が析出してくる。マグネシウムや亜鉛は鉄よりもイオン化傾向が大きく、水素を発生させるとともに鉄イオンを還元して析出させるのである。土壌、ひじき、血液から得られた鉄の溶出液は3価の鉄イオンを含んで褐色を帯びている。これに亜鉛を加えると激しく水素を発生しながら鉄を析出し、色は薄れてくる。析出した鉄は水素の発生とともに液面上がってくるので磁石で集めることができる。5 g ほどの材料でも十分に鉄を確認できるが、亜鉛そのものも不純物としてわずかに鉄を含んでいるので、対照実験の必要がある。なお、粉末状の亜鉛を用いると短時間に鉄を析出させることができる。

#### (5) まとめと考察

生徒がもっている鉄のイメージは、磁石に付くこと、酸と反応して水素を発生すること、金属光沢があること等である。

水素による還元は、強磁性体、水素発生 の二点で鉄を確認することができる。この方法では、材料が3種とも比較的少量で単体の鉄を取り出せるが、粉状であるため再酸化されやすく、注意して操作しなければならない。また、手順や装置も複雑になり、多量の水素を扱わなければならない難点もある。有効な方法ではあるが、十分な時間と安全への配慮が必要である。

メタノールによる還元は、水素による方法と比べ、容易で安全である。脱水物を作る点は同じだが材料も少量ですみ、教材性も高い。ただ、ここで得られる鉄は四三酸化鉄であり、強磁性体だが単体の鉄ではない。

電気分解、およびイオン化傾向の差を利用する方法は、ひじきや土壌から脱水物を作る必要がないので、操作が少なくてすむ利点があり、特に後者の場合には、短時間で実験を済ませることができる。電気分解の場合、濃い濃度の鉄の溶出液を用いると金属光沢を持った鉄をかけら状に取り出すことができ興味深い、析出させるために数時間を要する。

試みた4つの方法すべてについて、自然界にある材料から鉄の具体物（単体、および酸化鉄）を取り出すことができた。それぞれの方法の特長を考慮して、目的や技術に応じて選択することが望ましい。

なお、血液やひじきでは灰火物そのものも磁石に弱い反応を示した。これは磁石に付く、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  が存在するためと考えられるが、この方法でも鉄の存在を示すこともできると言えよう。

### 5. 教材化について

試みてきた元素の定性分析、および単体の鉄を取り出す方法のもつ教材性について、家庭科や保健体育の指導内容とも関連させて述べてみたい。

#### (1) 「人間と自然」の内容に関連して

自然界における物質や元素の循環は、自然と人間とのつながりを理解する上で重要な意味を持っているが、実験や観察はあまり提起されていない。定性的な分析で、土壌、植物、動物各層の身近な材料から馴染み深い元素を検出することによって、生徒は元素の循環を実感できると考えられる。鉄を取り出す方法についても同様である。これらの操作、実験を通して物質を構成する元素や、ひいては自然の仕

組みそのものにも目が向けられるようになる。なお、鉄を取り出す方法はメタノール還元やイオン化傾向の差を利用するのが適切であり、電気炉が不備であれば、マッフル炉や焼き物用の炉を利用することもできる。

## (2) 酸化と還元に関連して

水田深部の土壤に含まれる鉄は還元されて2価であり、表層部の鉄は酸化されて3価となっている。酸化還元反応が実験室だけでなく、自然の中でも行なわれていることを理解するためにも鉄は有効である。赤色土の脱水物は $\text{Fe}_2\text{O}_3$ を含んで褐色をしており、磁石にもほとんど反応しない。これをエタノールで還元すると黒灰色となり、磁石にも反応するようになる。この還元物は $\text{Fe}_3\text{O}_4$ を含んでおり、蒸発皿に入れて息を吹き込みながら強熱すると酸化されて褐色に戻る。酸化と還元を色調と磁性の変化から捉えることができ、赤さび、黒さびを知っている生徒にとって興味深い学習となろう。

## (3) 家庭科と保健体育に関連して

カルシウム、マグネシウム、鉄は人間の栄養素としても重要な元素である。食物に含まれる元素を分析したり、取り出してみたりすることによって、人間と食物の関係を実感することができよう。

特に、鉄はヘモグロビンの構成元素として有名であり、血液に含まれる鉄は約65日で半分が入れ替わるとされている。また、鉄の欠乏による貧血も広く知られており、鉄の循環は人間の健康とも深く結びついている。鉄の定性分析や単体を取り出す実験、観察を直接体験することによって、生徒の内部における鉄という物質の認識が教科の枠を越えて統合され、広がっていくと期待される。

## 6. お わ り に

本研究では、カルシウム、マグネシウム、鉄の定性分析が有効な方法であること、自然界から単体としての鉄を取り出す方法が、生徒実験としてもいくつか可能であることの2点を明らかにした。

他の元素の分析（ナトリウムやカリウムと海水の関連）、および授業実践、具体的な教材化はこれからの課題としなければならないが、身近な材料を用いた学習について検討することは、生徒に自然や物質に対する新しい視点を持たせる上で重要だと考えられる。血液やひじきに含まれる鉄が条件によってさまざまな形態をとり、また単体としても実際に取り出せることは、筆者自身にとっても新鮮で興味深いものであった。

最後に、原子吸光分析について指導していただいた県立公害衛生研究所の方々、豚の血液を快く提供していただいた新潟市食肉センターの方々に厚くお礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) 増井幸夫・利安義雄：「植物に含まれる元素の分析」，化学教育，第32巻 第6号（1984），P 58～61.
- 2) 武田一美：「砂鉄を用いた化学実験」，化学教育，第30巻 第2号（1982），P 85.
- 3) 田村 仁：「血液の鉄成分」，新潟県立教育センター研究報告，第68号（1983），P 23～26.